PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-271700
(43)Date of publication of application : 08.10.1999

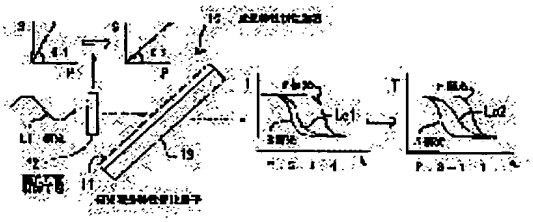
(51)Int.Cl. G02F 1/09
H01S 3/10

(21)Application number : 10-071756
(22)Date of filing : 20.03.1998

(71)Applicant : FUJITSU LTD
(72)Inventor : NAGANUMA NORIHISA

(54) WAVELENGTH CHARACTERISTIC CONTROLLER, A GAIN EQUIVALENT UNIT, AND OPTICAL AMPLIFIER

(57)Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To excellently perform variable control over wavelength characteristics even if changes are made owing to external factors such as environmental temperature by performing rotation control over a plane of polarization made incident on a polarization wavelength characteristic varying element and varying the ratio of P-polarized light and S-polarized light, and variably controlling the wavelength characteristics.
SOLUTION: The wavelength characteristic controller 10 which controls wavelength characteristics of polarized light Li (signal light) has the polarization wavelength characteristic varying element 11 and a polarization variable control means 12. Here, the polarization wavelength characteristic varying element 11 has wavelength characteristics having different variation in the transmissivity or reflection factor of the P-polarized light and S-polarized light. The polarization variable control means 12 performs rotation control over the plane of polarization of the polarized light Li made incident on the polarization wavelength characteristic varying element 11 to vary the ratio of the P-polarized light and S-polarized light, thereby controlling the wavelength characteristics variably. A wavelength plate, crystal, or Faraday rotator corresponds to the polarization variable control means 12. In case of the wavelength plate, this plate is rotated to variably control the wavelength characteristics.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報（A）　(11)特許出願公開番号

特開平１１－２７１７００

(43)公開日　平成11年(1999)10月8日

(51)Int. Cl.[6]		識別記号	FI		
G02F	1/09	505	G02F	1/09	505
H01S	3/10		H01S	3/10	Z

審査請求　未請求　請求項の数２８　ＯＬ　（全１４頁）

(21)出願番号　特願平10-71756

(22)出願日　平成10年(1998)3月20日

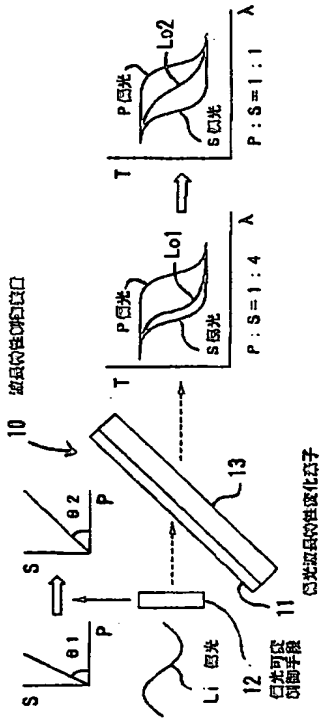
(71)出願人　000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72)発明者　長沼　典久
北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地
富士通北海道ディジタル・テクノロジ株式会社内

(74)代理人　弁理士　服部　毅巖

(54)【発明の名称】波長特性制御装置、利得等価器及び光増幅器

(57)【要約】
【課題】　波長特性の可変制御を良好に行う波長特性制御装置を提供することを目的とする。
【解決手段】　偏光波長特性変化素子１１は、波長に対し、Ｐ偏光とＳ偏光の透過率または反射率の変化が異なる波長特性を持つ。偏光可変制御手段１２は、偏光波長特性変化素子１１に入射する偏光Ｌｉの偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項１】　偏光の波長特性を制御する波長特性制御装置において、

波長に対し、Ｐ偏光とＳ偏光の透過率または反射率の変化が異なる前記波長特性を持つ偏光波長特性変化素子と、

前記偏光波長特性変化素子に入射する前記偏光の偏光面を回転制御して、前記Ｐ偏光と前記Ｓ偏光の比率を変化させ、前記波長特性を可変に制御する偏光可変制御手段と、

を有することを特徴とする波長特性制御装置。

【請求項２】　前記偏光波長特性変化素子は、誘電体多層膜であることを特徴とする請求項１記載の波長特性制御装置。

【請求項３】　前記偏光波長特性変化素子は、ファイバ融着デバイスであることを特徴とする請求項１記載の波長特性制御装置。

【請求項４】　前記偏光波長特性変化素子は、波長に対する透過率の変化率が大きい波長領域を、前記波長特性の波長領域として適用することを特徴とする請求項１記載の波長特性制御装置。

【請求項５】　前記偏光可変制御手段は、ファイバループに応力を印加して前記波長特性を可変に制御することを特徴とする請求項１記載の波長特性制御装置。

【請求項６】　前記偏光可変制御手段は、波長板であり、前記波長板を回転させて、前記波長特性を可変に制御することを特徴とする請求項１記載の波長特性制御装置。

【請求項７】　前記偏光可変制御手段は、液晶であることを特徴とする請求項１記載の波長特性制御装置。

【請求項８】　利得波長特性を能動的に等価する利得等価器において、

信号光の偏光分離を行う偏光分離手段と、

偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第１の偏光を生成する偏光面一致制御手段と、

前記第１の偏光の偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光との比率を変化させる偏光可変制御手段と、

変化した前記比率に対応する波長特性を持つ第２の偏光を生成する偏光波長特性変化素子と、

前記第２の偏光の偏光面を、前記第１の偏光の偏光面を回転制御する前記偏光可変制御手段とは逆回転に制御して、前記第１の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第３の偏光を生成する偏光復帰手段と、

前記第３の偏光の偏光合成を行う偏光合成手段と、

を有することを特徴とする利得等価器。

【請求項９】　前記偏光分離手段は、波長多重された前記信号光の偏光分離を行うことを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１０】　前記偏光分離手段は、複屈折結晶または誘電体多層膜であることを特徴とする請求項８記載の

2

利得等価器。

【請求項１１】　前記偏光面一致制御手段は、偏光分離された１つの偏光の偏光面を９０度回転して、前記偏光面を一致させることを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１２】　前記偏光合成手段は、１つの偏光の偏光面を９０度回転した後、前記偏光を合成することを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１３】　前記偏光合成手段は、複屈折結晶または誘電体多層膜で構成されることを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１４】　前記偏光波長特性変化素子は、前記偏光が入射する角度を可変することを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１５】　前記偏光波長特性変化素子は、偏光分離された複数の偏光毎に対応して、複数設置することを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１６】　前記偏光波長特性変化素子は、互いに異なる波長特性を持つ複数が、多段に構成することを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１７】　前記偏光波長特性変化素子は、前記偏光波長特性変化素子に反射する反射光を前記第２の偏光とすることを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１８】　前記偏光可変制御手段は、ファラデーローテータで構成されることを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項１９】　前記偏光可変制御手段は、前記ファラデーローテータへ与えられる印加磁界が変化することで、前記偏光面の回転制御を行うことを特徴とする請求項１８記載の利得等価器。

【請求項２０】　前記印加磁界を制御する電気信号である波長特性制御信号を送信して、前記波長特性を制御する波長特性制御信号生成手段をさらに含むことを特徴とする請求項１９記載の利得等価器。

【請求項２１】　前記波長特性制御信号生成手段は、前記信号光が与えられた光測定器からの測定結果である波長特性データにもとづいて、前記波長特性制御信号を生成することを特徴とする請求項２０記載の利得等価器。

【請求項２２】　前記波長特性制御信号生成手段は、前記信号光を波長毎に電気信号に変換する光／電気変換器からの測定結果である波長特性データにもとづいて、前記波長特性制御信号を生成することを特徴とする請求項２０記載の利得等価器。

【請求項２３】　前記偏光分離手段は、前記偏光によらず分岐比が一定で、かつ分岐比自体が可変な光分岐カプラであることを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項２４】　前記偏光波長特性変化素子は、波長特性の異なる光学エレンメントであり、分岐された光をそれぞれ透過させることを特徴とする請求項２３記載の利得等価器。

【請求項２５】　入力ファイバレンズと前記偏光分離手段の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置したことを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項２６】　入力ファイバレンズと前記偏光分離手段の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置したことを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項２７】　入力ファイバレンズと前記偏光分離手段の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置したことを特徴とする請求項８記載の利得等価器。

【請求項２８】　信号光を増幅し、利得波長特性を能動的に等価する光増幅器において、

前記信号光を増幅する増幅手段と、

増幅された前記信号光の偏光分離を行う偏光分離手段と、

偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第１の偏光を生成する偏光面一致制御手段と、

前記第１の偏光の偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光との比率を変化させる偏光可変制御手段と、

変化した前記比率に対応する波長特性を持つ第２の偏光を生成する偏光波長特性変化素子と、

前記第２の偏光の偏光面を、前記第１の偏光の偏光面を回転制御する前記偏光可変制御手段とは逆回転に制御して、前記第１の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第３の偏光を生成する偏光復帰手段と、

前記第３の偏光の偏光合成を行う偏光合成手段と、

を有することを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は波長特性制御装置、利得等価器及び光増幅器に関し、特に偏光の波長特性を制御する波長特性制御装置、利得波長特性を能動的に等価する利得等価器及び信号光を増幅し利得波長特性を能動的に等価する光増幅器に関する。

【０００２】

【従来の技術】近年の光通信ネットワークの普及にともない、さらなる長距離化、大容量化の要望に対応して光増幅器及び波長分割多重方式（ＷＤＭ：Wavelength DivisionMultiplex)が次世代の光通信技術として注目されている。

【０００３】図１７は従来の光増幅器の簡略構成を示す図である。光増幅器２００は、ＥＤＦ（Erbium-Doped Fiber）２０１と、ＰｕｍｐＬＤ（励起レーザダイオード）２０２で構成される。

【０００４】ＥＤＦ２０１は、希土類元素のＥｒ（エルビウム）が添加された光ファイバであり、ＰｕｍｐＬＤ２０２からの励起光によって高い順位に電子が励起される。そして、光ファイバ中のＥｒ原子に信号光が入ってくると誘導放出が生じ、信号光のパワーが光ファイバに沿って次第に増幅される。

【０００５】またこの場合、増幅する利得は波長特性を持っている。すなわち、信号光の波長によって利得が異なることになる。このため、ＷＤＭの光伝送システムに光増幅器をそのまま使用すると不都合なことが生じてしまう。

【０００６】例えば、光増幅器２００をＷＤＭの伝送路上に複数段設けると、波長によって利得に差が生じ、受信不可能なＳ／Ｎの信号が発生してしまい、全波長の伝送が正常にできなくなる。

【０００７】したがって、従来では光増幅器２００が接続されたＷＤＭ光伝送システムに対しては、利得を平坦化するための利得等価器が、光増幅器２００に内蔵、または光増幅器２００の数段毎に伝送路上設けられている。

【０００８】図１８は利得波長特性を示す図である。（Ａ）は複数の光増幅器２００により累積された利得波長特性を示す図である。横軸に波長λ、縦軸に利得Ｇをとる。図のように波長λ１、波長λ２に対して、利得の差がΔＧあったとする。

【０００９】（Ｂ）は利得等価器の損失波長特性を示す図である。横軸に波長λ、縦軸に損失利得Ｇをとる。図のような特性を持つ利得等価器を伝送路上に挿入する。（Ｃ）は平坦化された利得波長特性を示す図である。横軸に波長λ、縦軸に利得Ｇをとる。図のように利得等価器が挿入された伝送路上の波長λ１、波長λ２間の通過帯域では、利得波長特性が平坦化する。

【００１０】このように、通常多段に中継する光増幅器２００には、利得波長特性に対し、逆の損失波長特性を持つ利得等価器を挿入して利得波長特性を平坦化している。

【００１１】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記で説明したような光増幅器２００は、環境温度等の外部要因が変化すると動作点が変化してしまう。また、伝送路も外部条件によって伝搬特性が変化してしまう。

【００１２】すると、光増幅器２００への信号光の入力レベルが変動するので、出力レベルを一定にするために励起条件を変える必要がでてくる。すなわち、入力レベルが低下した場合はＰｕｍｐＬＤ２０２を強く光らせ、入力レベルが増加した場合はＰｕｍｐＬＤ２０２を弱く光らせなければならない。

【００１３】ところが、ＥＤＦ２０１に注入される励起光のパワーが変わると、光増幅器２００の利得波長特性も変化してしまう。一方、利得等価器の損失波長特性はあらかじめ設定されており、利得波長特性の変化に合わせて、アクティブに変えることができない。

【００１４】したがって、光増幅器２００の動作点や伝送路の伝搬特性などが変わってしまうと、従来の利得等

価器では、変化する利得波長特性に追従できないため、高精度な利得等価が行うことができなかった。

【００１５】このため、利得波長特性が平坦化されず、伝送品質を悪化させ、短距離の伝送しかできないといった問題があった。また、動作点などが変化しないようにするためには、伝送路のことも考慮しながら光増幅器２００の動作条件を厳密に決めなければならず、設計上の制約が非常に大きくなり、フレキシビリティに欠けるといった問題があった。

【００１６】本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、波長特性の可変制御を良好に行う波長特性制御装置を提供することを目的とする。また、本発明の他の目的は、高精度な利得等価を行って、伝送品質を向上させた利得等価器を提供することである。

【００１７】さらに、本発明の他の目的は、信号光の増幅を行った後に、高精度な利得等価を行って、伝送品質を向上させた光増幅器を提供することである。

【００１８】

【課題を解決するための手段】本発明では上記課題を解決するために、図１に示すような偏光Ｌｉ（信号光）の波長特性を制御する波長特性制御装置１０において、波長に対し、Ｐ偏光とＳ偏光の透過率または反射率の変化が異なる波長特性を持つ偏光波長特性変化素子１１と、偏光波長特性変化素子１１に入射する偏光Ｌｉの偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する偏光可変制御手段１２と、を有することを特徴とする波長特性制御装置１０が提供される。

【００１９】ここで、偏光波長特性変化素子１１は、波長に対し、Ｐ偏光とＳ偏光の透過率または反射率の変化が異なる波長特性を持つ。偏光可変制御手段１２は、偏光波長特性変化素子１１に入射する偏光Ｌｉの偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する。

【００２０】また、図５に示すような利得波長特性を能動的に等価する利得等価器１０ａにおいて、信号光の偏光分離を行う偏光分離手段１４と、偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第１の偏光を生成する偏光面一致制御手段１５と、第１の偏光の偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光との比率を変化させる偏光可変制御手段１２と、変化した比率に対応する波長特性を持つ第２の偏光を生成する偏光波長特性変化素子１１と、第２の偏光の偏光面を、第１の偏光の偏光面を回転制御する偏光可変制御手段１２とは逆回転に制御して、第１の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第３の偏光を生成する偏光復帰手段１７と、第３の偏光の偏光合成を行う偏光合成手段１８と、を有することを特徴とする利得等価器１０ａが提供される。

【００２１】ここで、偏光分離手段１４は、利得波長特性が変化する信号光の偏光分離を行う。偏光面一致制御

手段１５は、偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第１の偏光を生成する。偏光可変制御手段１２は、第１の偏光の偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光との比率を変化させる。偏光波長特性変化素子１１は、変化した比率に対応する波長特性を持つ第２の偏光を生成する。偏光復帰手段１７は、第２の偏光の偏光面を、第１の偏光の偏光面を回転制御する偏光可変制御手段１２とは逆回転に制御して、第１の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第３の偏光を生成する。偏光合成手段１８は、第３の偏光の偏光合成を行う。

【００２２】さらに、図１６に示すような信号光を増幅し、利得波長特性を能動的に等価する光増幅器２０において、信号光を増幅する増幅手段２１と、利得等価器１０ａと、を有することを特徴とする光増幅器２０が提供される。

【００２３】ここで、増幅手段２１は、信号光を増幅する。増幅され、利得波長特性が変化した信号光は、利得等価器１０ａで利得等価される。

【００２４】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図１は本発明の波長特性制御装置の原理図である。波長特性制御装置１０は、半導体レーザから出力された光ファイバ上を伝搬する偏光Ｌｉ（信号光）の波長特性を制御する。

【００２５】ここでの波長特性とは、波長に対する透過率のことを意味する。なお、反射率としても同様であるが、以降では透過率として説明する。偏光波長特性変化素子１１は、水平偏光であるＰ偏光と、垂直偏光であるＳ偏光と、の透過率（または反射率）の変化が異なる波長特性を持つ光学エレメントである。図ではガラス基板１３に偏光波長特性変化素子１１が蒸着されている。

【００２６】偏光波長特性変化素子１１としては、例えば、誘電体からなる高屈折率及び低屈折率の薄膜を交互多層に重ね合わせた誘電体多層膜や、２本の光ファイバを融着して引きのばして分岐結合させることで、ある波長特性を持たせたファイバ融着デバイスなどに該当する。

【００２７】偏光可変制御手段１２は、偏光波長特性変化素子１１に入射する偏光Ｌｉの偏光面を回転制御して、Ｐ偏光とＳ偏光の比率（透過比率）を変化させ、波長特性を可変に制御する。

【００２８】図では、まず偏光Ｌｉの偏光面の角度θ１に対して、Ｐ偏光とＳ偏光の比率がＰ：Ｓ＝１：４となる波長特性を持つ偏光Ｌｏ１が出力している。そして、偏光可変制御手段１２で偏光面の回転制御を行って角度をθ１からθ２に変える。

【００２９】すると、この場合はＰ偏光とＳ偏光の比率がＰ：Ｓ＝１：１となる波長特性を持つ偏光Ｌｏ２が出力する。なお、図中のＴは透過率、λは波長である。このようにＰ偏光とＳ偏光の比率を変化させることで、波

長特性を可変に制御することができる。

【００３０】また、偏光可変制御手段１２としては、波長板や液晶、または後述のファラデーローテータなどが該当する。波長板の場合は、これを回転させることで波長特性を可変に制御することができる。また、ファイバループに応力を印加することで波長特性を制御してもよい。

【００３１】図２はファイバ融着デバイスを使用した場合の波長特性制御装置１０を示す図である。偏光波長特性変化素子１１として、ファイバ融着デバイス１１ａを使用している。また、偏光可変制御手段１２としては、ファイバループに応力を印加することで波長特性を制御する。

【００３２】すなわち、図の１本から数本のファイバループに対し、これの捻り調整を行うことで偏光面を回転制御する。そして、所望の偏光状態になった偏光をファイバ融着デバイス１１ａに入射させる。このようにして波長特性を可変に制御することができる。

【００３３】次に偏光波長特性変化素子１１の波長特性について説明する。図３は偏光波長特性変化素子１１の波長特性を示す図である。縦軸は透過率Ｔ（％）、横軸は波長λ（ｎｍ）である。

【００３４】図に示すように、偏光波長特性変化素子１１は、波長に対して一定の相関で透過率の増加、減少を起こす。ここでＰ偏光、Ｓ偏光によって波長特性に大きな差のあるもの、すなわちＰ偏光の透過率が２０％から急激に１００％に増加し、Ｓ偏光の透過率が０％に近い波長領域（波長領域Ａ）、またはＳ偏光の透過率が９０％近くから急激に４０％まで減少し、Ｐ偏光の透過率がほとんど１００％に近い波長領域（波長領域Ｂ）のいずれかを、波長特性制御装置１０で利得等価したい波長領域として設定する。

【００３５】なぜなら、多波長の信号帯域は、例えば０．８ｎｍ間隔に１６波立てると、１２ｎｍ程度の帯域となる。したがって、この非常に狭い帯域の中で波長特性を変えなければならないので、波長に対する透過率の変化率が大きい波長領域を選ぶ必要があるからである。

【００３６】図４は波長領域Ｂを拡大した図である。この波長領域Ｂ内の波長を持つ信号光に対して、Ｐ偏光、Ｓ偏光の比率を変えて波長特性を可変に制御する。以上説明したように、本発明の波長特性制御装置１０は、偏光波長特性変化素子１１に入射する偏光面の回転制御を行って、Ｐ偏光とＳ偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する構成とした。

【００３７】これにより、環境温度等の外部要因による変化が生じても、波長特性を良好に可変制御することが可能になる。また、本発明の波長特性制御装置１０を上記で説明した利得等価器に適用することにより、光増幅器２００の出力の利得波長特性が変化した場合でもアクティブに等価できるので、高精度な利得等価を行うことが可能になる。

【００３８】次に波長特性制御装置１０を適用した本発明の利得等価器について説明する。図５は本発明の利得等価器の原理図である。利得等価器１０ａは、入力する信号光の利得波長特性が変化した際に、利得波長特性を能動的に等価する。なお、ここでの利得波長特性とは、波長に対する利得のことである。

【００３９】偏光分離手段１４は、利得波長特性が変化する波長多重された信号光の偏光分離を行う。すなわち、光増幅器から出力された利得波長特性が変化する信号光が入力し、この信号光を偏光分離する。偏光分離手段１４は、複屈折結晶または誘電体多層膜などに該当する。

【００４０】偏光面一致制御手段１５は、偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第１の偏光を生成する。図では、第１の偏光は利得波長特性ｇ１を持っているものとする。

【００４１】波長特性制御信号生成手段１６は、波長特性を制御するための波長特性制御信号ＣＮＴを生成する。偏光可変制御手段１２は、波長特性制御信号ＣＮＴにもとづき、第１の偏光の偏光面を回転制御して、利得波長特性ｇ１とは逆の損失波長特性ｇ２となるように、Ｐ偏光とＳ偏光との比率を変化させる。

【００４２】ガラス基板１３に蒸着している偏光波長特性変化素子１１は、このように設定された比率を持つＰ偏光とＳ偏光に対応する波長特性で第１の偏光を透過させることにより、利得波長特性を平坦化させた（利得波長特性ｇ３）第２の偏光を生成する。

【００４３】偏光復帰手段１７は、第２の偏光の偏光面を逆回転制御して、第１の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第３の偏光を生成する。すなわち、偏光可変制御手段１２に入射する前の第１の偏光の時の偏光面に戻す。

【００４４】偏光合成手段１８は、複数に分割されている第３の偏光の偏光合成を行って１つの光線にし、信号光として出力する。偏光合成の際には、１つの偏光の偏光面を９０度回転した後、偏光合成する。また、偏光合成手段１８は、複屈折結晶または誘電体多層膜などで構成される。

【００４５】次に利得等価器１０ａの詳細構成及び動作について説明する。図６は利得等価器１０ａの詳細構成を示す図である。光増幅器内のＥＤＦで増幅された多波長の光が伝搬する入力ファイバ１ａは、フェルール２ａに接着固定されている。

【００４６】コリメートレンズ４ａを固着したレンズホルダ３ａは、入力ファイバ１ａと焦点位置を調節後、フェルール２ａに溶接固定される。また、コリメートレンズ４ａの出射ビームは平行ビームで出射する。

【００４７】ここで、光ファイバ中を伝搬してくる信号光の偏光は、直線偏光であったり、または楕円偏光や円偏光であったり、とランダムな偏光状態（任意偏光と呼

ぶ）である。したがって、偏光波長特性変化素子１１に入射する前に偏光面を一致させる必要があるまず、偏光分離手段１４に該当する平行ルチル板１４で、任意偏光である信号光を常光と異常光に偏光分離する。

【００４８】すなわち、平行ルチル板１４の結晶軸Ｘ１を含む面に対して、任意偏光の振動方向が垂直なものを常光Ｏｒとして出射し、結晶軸Ｘ１を含む面に対して、任意偏光の振動方向が平行なものを異常光Ｅｘとして出射する。

【００４９】偏光面一致制御手段１５に該当する１／２波長板１５は、常光側に設置されており（異常光側に設置しても構わない）、常光の偏光面を９０度回転して、常光を異常光と同じ偏光面にさせる。

【００５０】同一偏光面になった常光と異常光（第１の偏光）は、偏光可変制御手段１２に該当するファラデーローテータ１２ａで所望の損失波長特性になるように偏光面を回転させられる。ただし、ここでの常光と異常光とは、結晶内部での常光と異常光を意味している。

【００５１】ファラデーローテータ１２ａは、磁界中を進む光の偏光面を回転させるＹＩＧ（Yttrium Iron Garnet)結晶を用いた磁気光学効果を持つ偏光面回転エレメントである。

【００５２】また、ＹＩＧには電磁石１２ｂ－１、１２ｂ－２で磁界Ｈ１が印加されている。そして、この磁界Ｈ１は、波長特性制御信号生成手段１６からの波長特性制御信号ＣＮＴである電流Ｉにより制御できる。

【００５３】したがって、この電流Ｉにより磁界Ｈ１を変えて、偏光面の回転量を制御する。また、ガラス基板１３に蒸着している偏光波長特性変化素子１１を図中の方向ｄのように機械的に回転させて、偏光の入射角度を可変にすることで、波長特性を微調整することもできる。

【００５４】偏光波長特性変化素子１１を通過して平坦化した常光と異常光（第２の偏光）は、偏光復帰手段１７に該当するファラデーローテータ１７ａで、前置のファラデーローテータ１２ａで回転させられた偏光面を元の偏光面に復帰する方向に逆回転させられる。

【００５５】この制御は、ファラデーローテータ１２ａと１７ａの長さを等しくし、電磁石１７ｂ－１、１７ｂ－２を図のように構成し、印加する磁界の方向が逆（図中Ｈ２）となるように電磁石の磁性を配置すればよい。

【００５６】その後、異常光は、１／２波長板１８ｂで今度は常光に回転させられ、偏光合成手段１８に該当する平行ルチル板１８ａでもとの常光と結合される。ここで、平行ルチル板１８ａで常光と異常光の関係を逆転させて結合するのは、偏光分散を相殺してなくしてしまうためである。

【００５７】そして、コリメートレンズ４ｂで出力ファイバ１ｂに出射される。なお、出力ファイバ１ｂは、フェルール２ｂに接着固定されている。また、コリメート

レンズ４ｂを固着したレンズホルダ３ｂは、出力ファイバ１ｂと焦点位置を調節後、フェルール２ｂに溶接固定されている。

【００５８】次に偏光波長特性変化素子１１の波長特性及び損失波長特性について説明する。図７は利得等価器１０ａの偏光波長特性変化素子１１の波長特性を示す図である。縦軸に透過率Ｔ（％）、横軸に波長λ（ｎｍ）をとる。

【００５９】波長に対する透過率の変化率が波長域１５４０ｎｍ～１６００ｎｍの領域で大きくなっている。したがって、この領域内で偏光面を回転させればよい。図では特性ｔ１が、Ｐ：Ｓ＝１：９であり、特性ｔ２がＰ：Ｓ＝２：８となっている。以下、図に示す通りである。

【００６０】図８は損失波長特性を示す図である。縦軸に利得Ｇ（ｄＢ）、横軸に波長λ（ｎｍ）をとる。図７の特性ｔ１～ｔ９に対応して、図のような損失波長特性が得られる。

【００６１】なお、上記の偏光波長特性変化素子１１は、１個で構成したが、偏光分離された複数の偏光毎に対応して、複数個設置してもよい。また、互いに異なる波長特性を持つ複数の偏光波長特性変化素子を多段に設置してもよい。このようにすれば、より複雑な波長特性の制御を行うことができる。

【００６２】さらに、上記では偏光波長特性変化素子１１の通過光を合成して出力したが、反射光を合成して出力してもよい。図９は偏光波長特性変化素子１１の反射光を合成して出力する利得等価器を示す図である。図に示すように利得等価器１０ｂでは、波長特性制御された偏光波長特性変化素子１１の反射光Ｒ１、Ｒ２を合成して出力する。なお、構成要素、動作は利得等価器１０ａと同様なので説明は省略する。

【００６３】次に波長特性制御信号生成手段１６を用いて、ファラデーローテータ１２ａ、１７ａに与える印加磁界の制御について説明する。図１０、図１１は印加磁界制御を行う場合のシステム構成例を示す図である。

【００６４】図１０では、まず光増幅器２００からの出力を光分岐カプラ３００で分岐し、分岐された一方の信号光を利得等価器１０ａに入力する。そして、分岐された他方の信号光を光スペクトラムアナライザ４００に入力する。

【００６５】光スペクトラムアナライザ４００は、回折格子やフォトダイオード等からなり、信号光の波長特性を測定し、その測定結果を波長測定データとして、利得等価器１０ａ内部の波長特性制御信号生成手段１６に送信する。

【００６６】波長特性制御信号生成手段１６では、波長測定データにもとづいて、波長特性制御信号ＣＮＴである電流量Ｉを決定し、印加磁界を制御する。図１１では、光増幅器２００からの出力を光分岐カプラ３００で

分岐した後、さらに光分岐カプラ３０１ａ～３０１ｎで分岐する。

【００６７】光分岐カプラ３０１ａ～３０１ｎで分岐された信号光は、光／電気変換器５００ａ～５００ｎで波長毎に電気信号に変換される。光／電気変換器５００ａ～５００ｎは、レンズ５０１、バンドパスフィルタ５０２ａ～５０２ｎ、フォトダイオードＰＤで構成される。バンドパスフィルタ５０２ａ～５０２ｎは、設定された波長λａ～λｎのフィルタリング処理を行う。

【００６８】そして、各波長毎にフォトダイオードＰＤで電気信号にされ、この出力である波長特性データが波長特性制御信号生成手段１６に送信される。波長特性制御信号生成手段１６では、波長特性データの電流差分値にもとづいて、波長特性制御信号ＣＮＴである電流量Ｉを決定し、印加磁界を制御する。

【００６９】なお、上記の説明ではいずれも波長特性制御信号生成手段１６を利得等価器１０ａ内部に設けたが、利得等価器１０ａをドライブするためのドライバ装置として外部に設けてもよい。

【００７０】次に分岐比可変カプラを用いて構成した利得等価器について説明する。図１２は分岐比可変カプラで構成した利得等価器を示す図である。利得等価器１０ｃは、偏光分離手段１４の代わりに分岐比可変カプラ１４－１を使用する。分岐比可変カプラ１４－１は、印加された応力に対応して分岐比を決め、その分岐比で信号光を分岐する。

【００７１】光学エレメント１１ｂ－１、１１ｂ－２は、レンズ及びバンドパスフィルタ等で構成されており、それぞれ異なる波長特性が設定されている。そして、分岐されたそれぞれの光に対し、設定された波長特性で透過させる。光路結合カプラ１８－１は、透過した光を結合して出力する。

【００７２】以上説明したように、本発明の利得等価器は、偏光波長特性変化素子１１に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性となる波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。

【００７３】これにより、光増幅器のＥＤＦの動作条件により波長差が変化する利得を持つ多波長の信号光に対しても、変化に対応した損失波長特性が利得等価器により与えられるので、波長間差のない利得に修正されて伝送路へ送ることが可能になる。

【００７４】次にアイソレータを挿入した利得等価器について説明する。図１３はアイソレータを挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器１０ｄは、入力ファイバレンズと偏光分離手段１４の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置する。

【００７５】例えば図では、アイソレータ１９ａは、入力ファイバレンズであるコリメートレンズ４ａと、偏光分離手段１４に該当する平行ルチル板１４と、の間に配置されている。

【００７６】このようにアイソレータ１９ａを挿入することにより、光ファイバとの結合部や、光ファイバと光部品との接続部で発生する不要な反射波に対して、反射防止コートを行うことができる。

【００７７】次に光分岐手段を挿入した利得等価器について説明する。図１４は光分岐手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器１０ｄは、入力ファイバレンズと偏光分離手段１４の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置する。

【００７８】例えば図では、光分岐手段はカプラ膜１９ｂに該当し、入力ファイバレンズであるコリメートレンズ４ａと、偏光分離手段１４に該当する平行ルチル板１４と、の間に配置されている。

【００７９】そして、カプラ膜１９ｂにはフォトダイオード１９ｃが接続しており、分岐された光を電気信号に変換する。このようにカプラ膜１９ｂを挿入することにより、利得等価器内部から光分岐させることができる。

【００８０】次に波長多重手段を挿入した利得等価器について説明する。図１５は波長多重手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器１０ｆは、入力ファイバレンズと偏光分離手段１４の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置する。

【００８１】例えば図では、波長多重手段はＷＤＭ膜１９ｄに該当し、入力ファイバレンズであるコリメートレンズ４ａと、偏光分離手段１４に該当する平行ルチル板１４と、の間に配置されている。

【００８２】そして、ＷＤＭ膜１９ｄは、光ファイバ１ａからの光信号と、励起レーザ１９ｅ（利得等価器１０ｆの外部にある）から光ファイバ１ｃを通じて入力する光信号と、の波長多重を行う。

【００８３】なお、光ファイバ１ｃは、フェルール２ｃに接着固定されており、コリメートレンズ４ｃを固着したレンズホルダ３ｃは、入力ファイバ１ｃと焦点位置を調節後、フェルール２ｃに溶接固定される。

【００８４】このようにＷＤＭ膜１９ｄを挿入することにより、利得等価器内部で波長多重を行うことができる。次に利得等価器１０ａを内部に含む本発明の光増幅器について説明する。図１６は本発明の光増幅器の原理図である。光増幅器２０は、信号光を増幅し、利得波長特性を能動的に等価する。

【００８５】増幅手段２１は、入力された信号光を増幅する。利得等価器１０ａでは、増幅されて利得波長特性が変化した信号光の利得波長特性を制御する。以上説明したように、本発明の光増幅器２０は、増幅後の信号光に対し、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性とな

る波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。

【００８６】これにより、利得等価器を内蔵した光増幅器２０により伝送中継を行うＷＤＭ光伝送システムでは、伝送路のロス変動などによる外部要因を含めた伝送帯域を保証でき、伝送品質の維持を確実に行うことが可能になる。

【００８７】また、個別に調整設定を必要としない単一仕様の光増幅器２０を使えるので、利得波長特性の平坦化を簡易に最適化でき、光増幅器２０のコストを低減することが可能になる。

【００８８】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長特性制御装置は、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、Ｐ偏光とＳ偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する構成とした。これにより、環境温度等の外部要因による変化が生じても、波長特性を良好に可変制御することが可能になる。

【００８９】また、本発明の利得等価器は、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性となる波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。これにより、光増幅器から増幅された信号光の利得波長特性が変化した場合でも、アクティブに等価して利得波長特性を平坦化できるので、伝送品質の向上を図ることが可能になる。

【００９０】さらに本発明の光増幅器は、増幅後の信号光に対し、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性となる波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。これにより、増幅した信号光の利得波長特性が変化した場合でも、アクティブに等価して利得波長特性を平坦化できるので、伝送品質の向上を図ることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の波長特性制御装置の原理図である。

【図２】ファイバ融着デバイスを使用した場合の波長特性制御装置を示す図である。

【図３】偏光波長特性変化素子の波長特性を示す図である。

【図４】波長領域を拡大した図である。

【図５】本発明の利得等価器の原理図である。

【図６】利得等価器の詳細構成を示す図である。

【図７】利得等価器の偏光波長特性変化素子の波長特性を示す図である。

【図８】損失波長特性を示す図である。

【図９】偏光波長特性変化素子の反射光を合成して出力する利得等価器を示す図である。

【図１０】印加磁界制御を行う場合のシステム構成例を示す図である。

【図１１】印加磁界制御を行う場合のシステム構成例を示す図である。

【図１２】分岐比可変カプラで構成した利得等価器を示す図である。

【図１３】アイソレータを挿入した利得等価器を示す図である。

【図１４】光分岐手段を挿入した利得等価器を示す図である。

【図１５】波長多重手段を挿入した利得等価器を示す図である。

【図１６】本発明の光増幅器の原理図である。

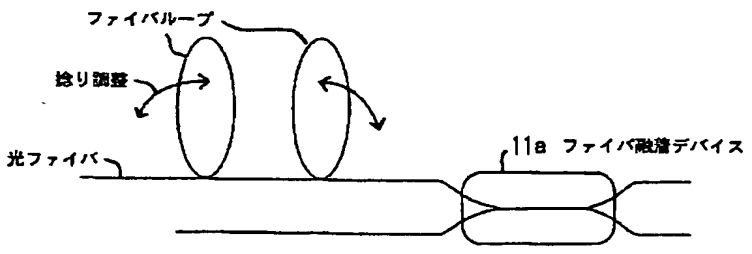
【図１７】従来の光増幅器の簡略構成を示す図である。

【図１８】利得波長特性を示す図である。（Ａ）は複数の光増幅器により累積された利得波長特性を示す図である。（Ｂ）は利得等価器の損失波長特性を示す図である。（Ｃ）は平坦化された利得波長特性を示す図である。

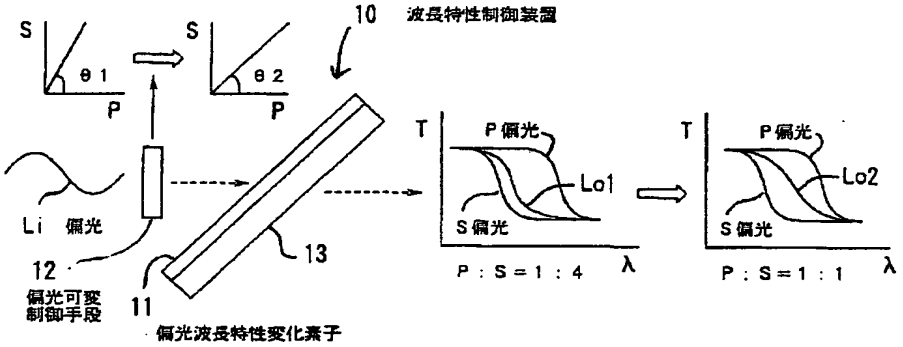
【符号の説明】

１０　波長特性制御装置
１１　偏光波長特性変化素子
１２　偏光可変制御手段
１３　ガラス基板
Ｌｉ　偏光
Ｌｏ１　Ｐ：Ｓ＝１：４の比率を持つ偏光
Ｌｏ２　Ｐ：Ｓ＝１：１の比率を持つ偏光
θ１、θ２　偏光面入射角度
λ　波長
Ｔ　透過率

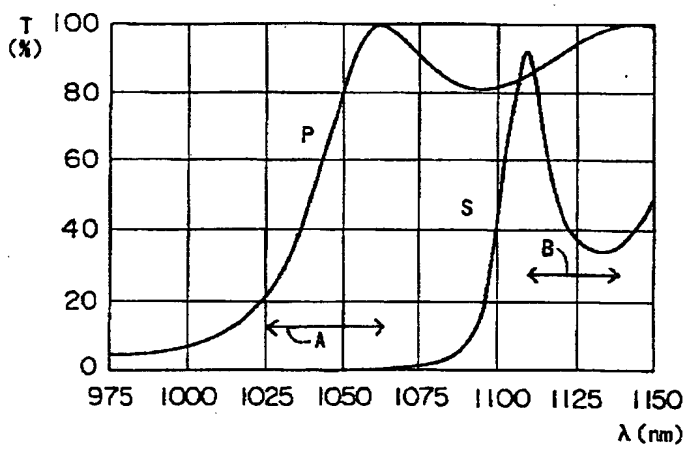
【図２】



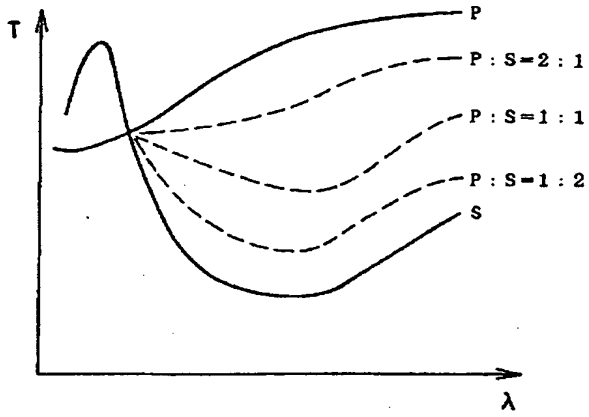
【図１】


10 波長特性制御装置
S
θ1
P
S
θ2
P
Li 偏光
12
偏光可変
制御手段
11
13
偏光波長特性変化素子
T
P偏光
Lo1
S偏光
P：S＝1：4
λ
T
P偏光
Lo2
S偏光
P：S＝1：1
λ

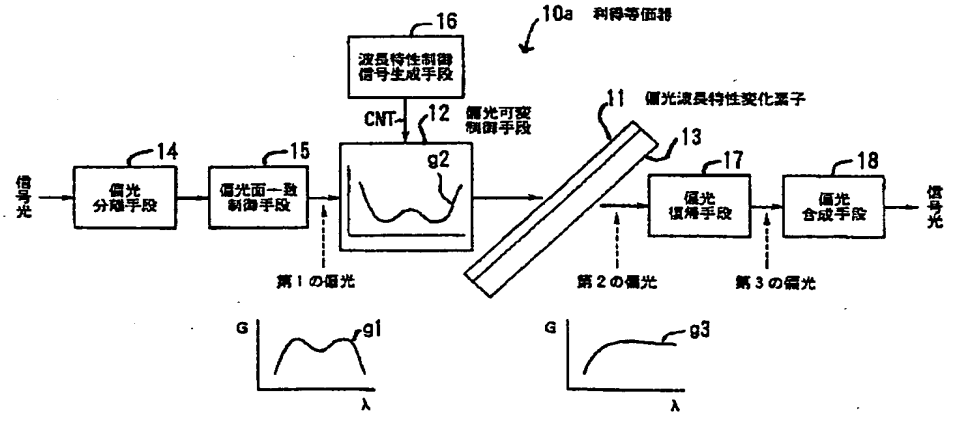
【図３】


T
(%)
100
80
60
40
20
0
P
S
A
B
975
1000
1025
1050
1075
1100
1125
1150
λ(nm)

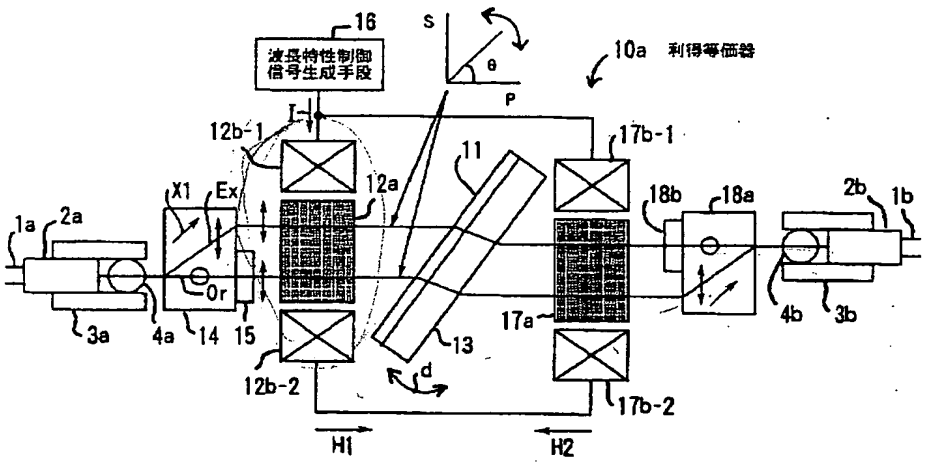
【図４】


T
P
P：S＝2：1
P：S＝1：1
P：S＝1：2
S
λ

【図５】


10a 利得等価器
16
波長特性制御
信号生成手段
CNT
12 偏光可変
制御手段
11 偏光波長特性変化素子
13
14
偏光
分離手段
15
偏光面一致
制御手段
g2
17
偏光
復帰手段
18
偏光
合成手段
信号光
信号光
第１の偏光
第２の偏光
第３の偏光
G
g1
λ
G
g3
λ

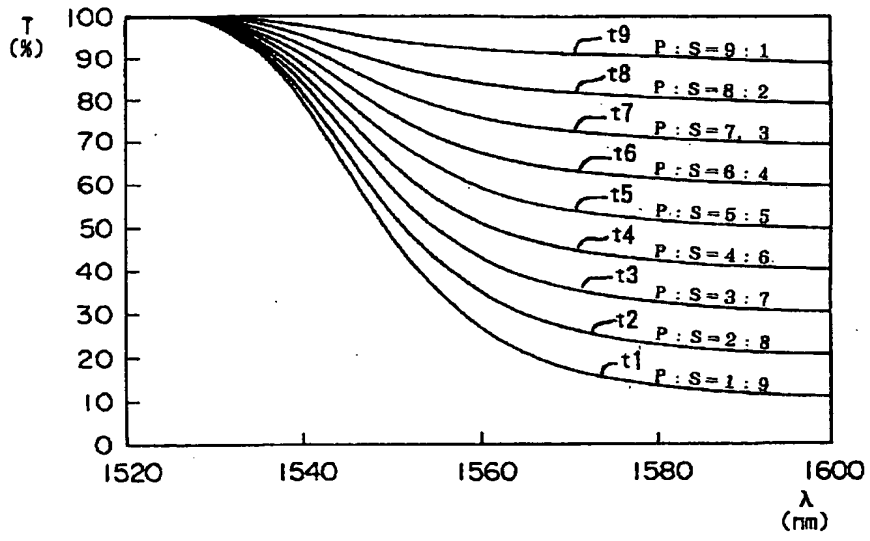
【図６】



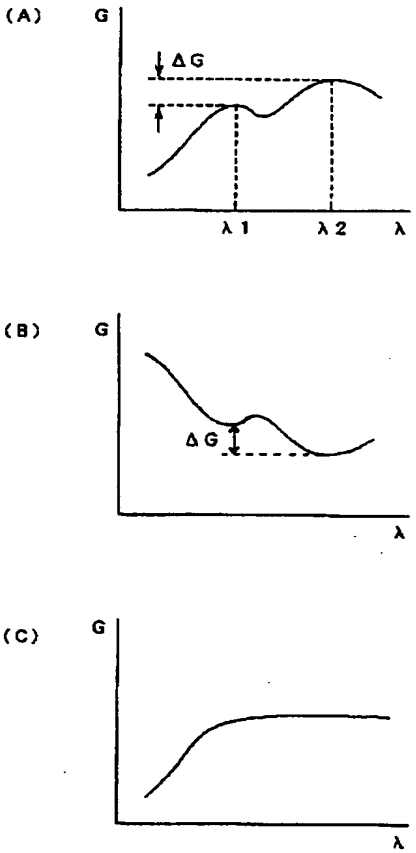
位相子入力
直線偏光で回転

下
偏光状態がそのまま
で軸を回転
円→円，右円→右円

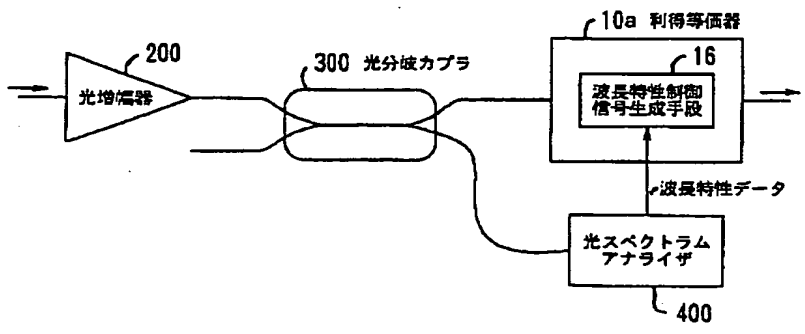
【図７】



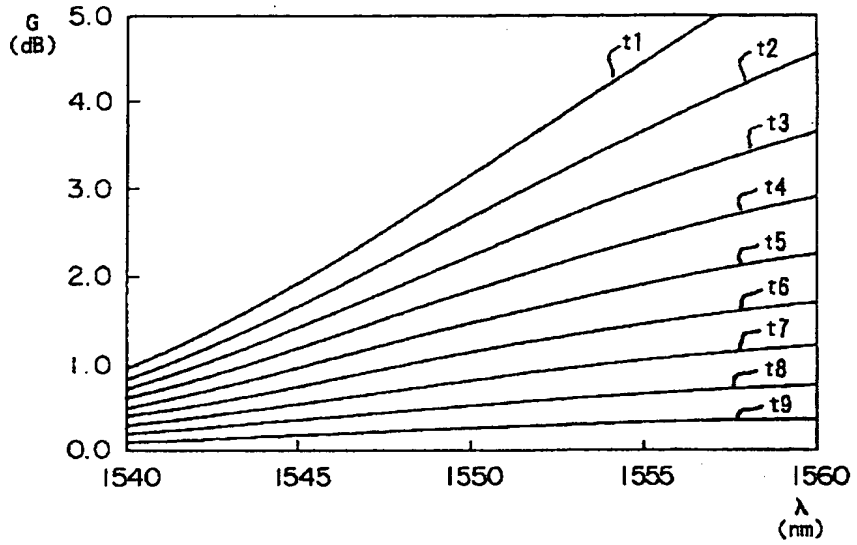
【図１８】



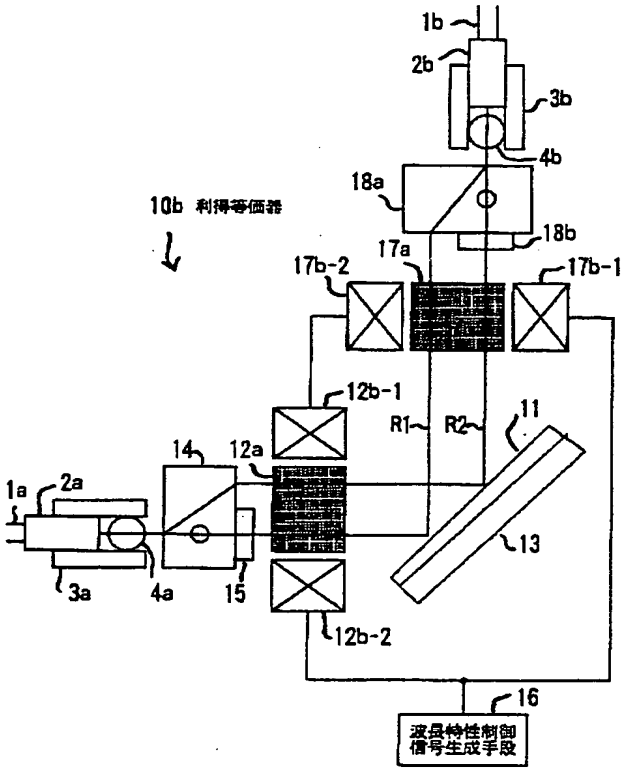
【図１０】



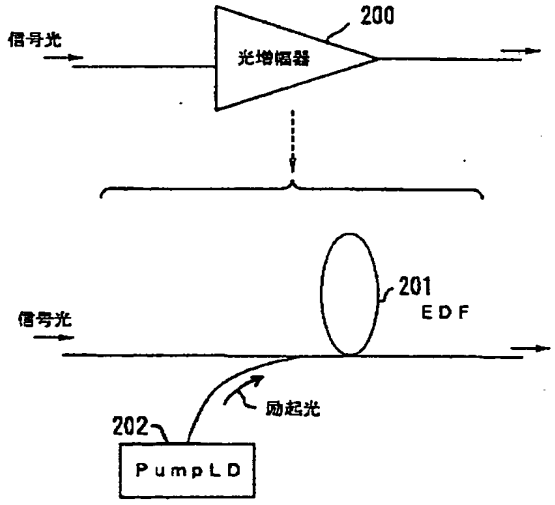
【図８】


G
(dB)
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
1540
1545
1550
1555
1560
λ
(nm)
t1
t2
t3
t4
t5
t6
t7
t8
t9

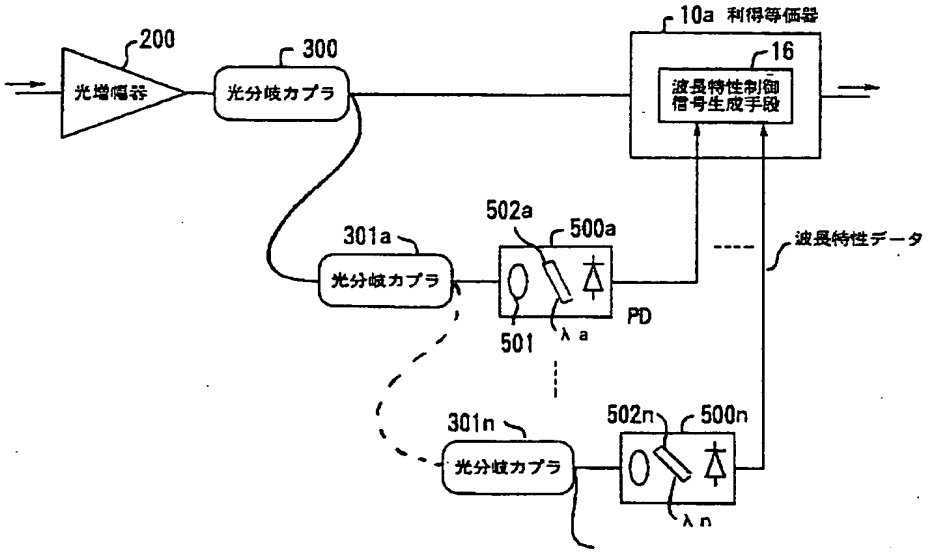
【図９】


1b
2b
3b
4b
18a
18b
10b 利得等価器
17b-2
17a
17b-1
12b-1
R1
R2
11
14
12a
1a
2a
3a
4a
15
13
12b-2
16
波長特性制御
信号生成手段

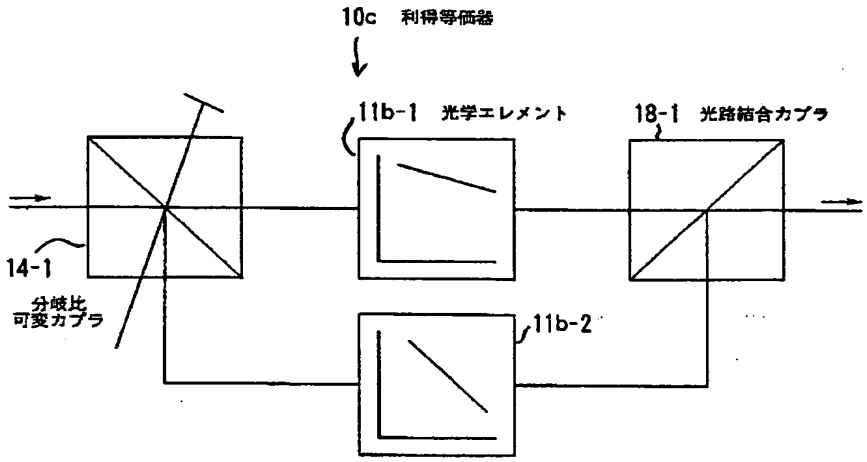
【図１７】


信号光
200
光増幅器
201
EDF
信号光
励起光
202
PumpLD

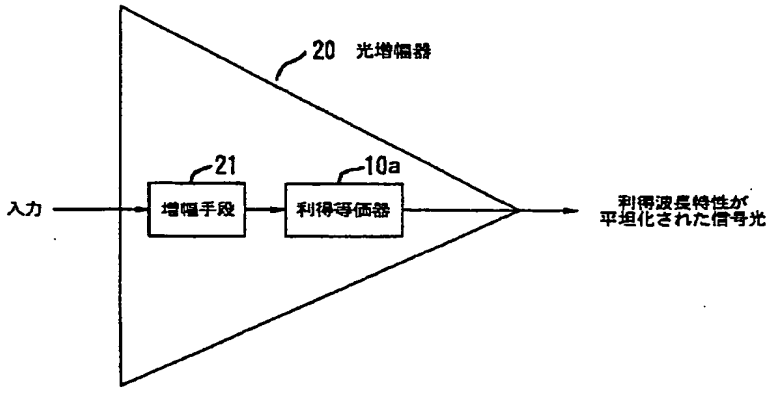
【図１１】


10a 利得等価器
200
光増幅器
300
光分岐カプラ
16
波長特性制御
信号生成手段
502a
500a
301a
光分岐カプラ
波長特性データ
PD
501
λ a
301n
502n
500n
光分岐カプラ
λ n

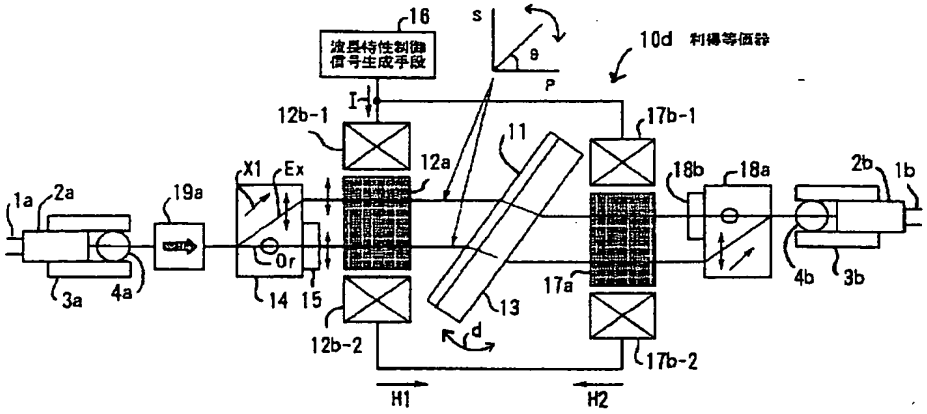
【図１２】


10c 利得等価器
11b-1 光学エレメント
18-1 光路結合カプラ
14-1
分岐比
可変カプラ
11b-2

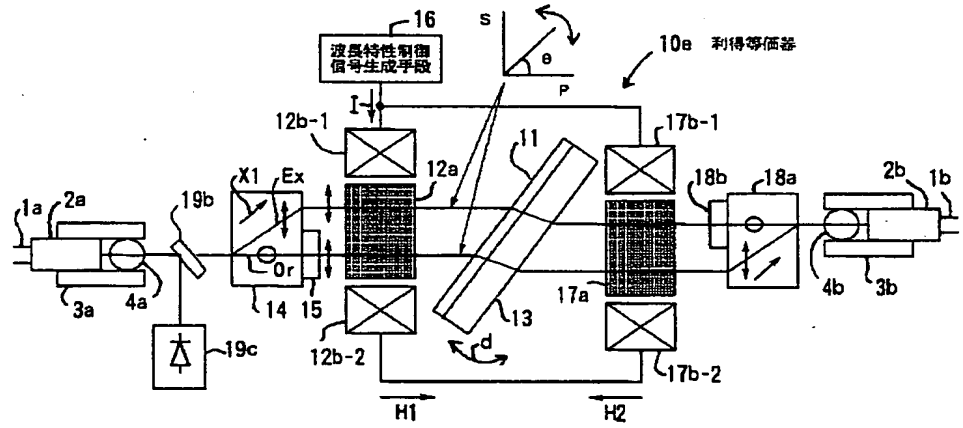
【図１６】


20 光増幅器
21
増幅手段
10a
利得等価器
入力
利得波長特性が
平坦化された信号光

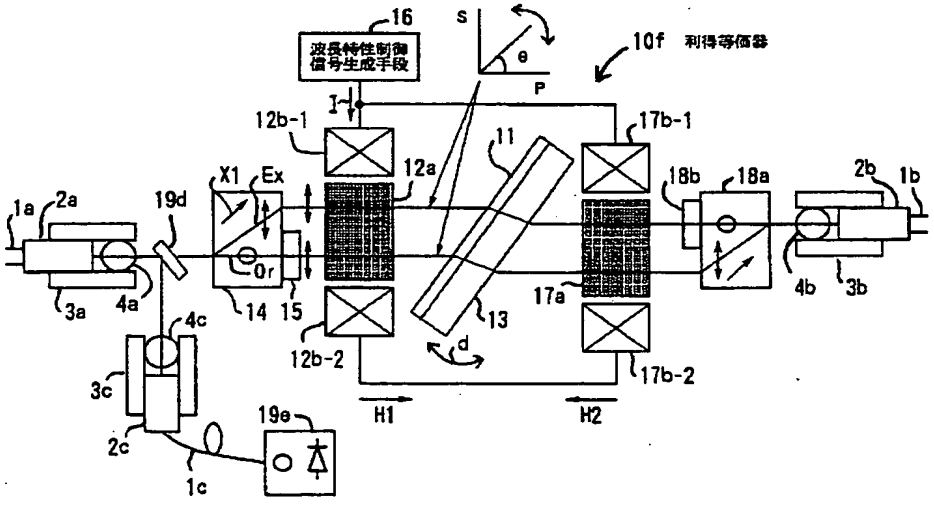
【図１３】


16
波長特性制御
信号生成手段
S
θ
P
10d 利得等価器
I
12b-1
17b-1
11
12a
X1
Ex
18b
18a
2b
1b
1a
2a
19a
0r
17a
4b
3b
3a
4a
14
15
13
12b-2
d
17b-2
H1
H2

【図１４】


16
波長特性制御
信号生成手段
S
θ
P
10e 利得等価器
I
12b-1
17b-1
11
12a
X1
Ex
18b
18a
2b
1b
1a
2a
19b
0r
17a
4b
3b
3a
4a
14
15
13
19c
12b-2
d
17b-2
H1
H2

【図１５】


16
波長特性制御
信号生成手段
S
θ
P
10f 利得等価器
I
12b-1
17b-1
11
12a
X1
Ex
18b
18a
2b
1b
1a
2a
19d
0r
17a
4b
3b
3a
4a
14
15
13
4c
12b-2
d
17b-2
3c
H1
H2
19e
2c
1c

【手続補正書】
【提出日】平成１０年１２月２５日
【手続補正１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】請求項２５
【補正方法】変更
【補正内容】
【請求項２５】　入力ファイバレンズと前記偏光分離手段、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置したことを特徴とする請求項８記載の利得等価器。
【手続補正２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】請求項２６
【補正方法】変更
【補正内容】
【請求項２６】　入力ファイバレンズと前記偏光分離手段、入力ファイバレンンズと出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置したことを特徴とする請求項８記載の利得等価器。
【手続補正３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】請求項２７
【補正方法】変更
【補正内容】
【請求項２７】　入力ファイバレンズと前記偏光分離手段、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置したことを特徴とする請求項８記載の利得等価器。
【手続補正４】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００７４
【補正方法】変更
【補正内容】
【００７４】　次にアイソレータを挿入した利得等価器について説明する。図１３はアイソレータを挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器１０ｄは、入力ファイバレンズと偏光分離手段１４、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置する。
【手続補正５】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００７７
【補正方法】変更
【補正内容】
【００７７】　次に光分岐手段を挿入した利得等価器について説明する。図１４は光分岐手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器１０ｄは、入力ファイバレンズと偏光分離手段１４、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置する。
【手続補正６】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００８０
【補正方法】変更
【補正内容】
【００８０】　次に波長多重手段を挿入した利得等価器について説明する。図１５は波長多重手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器１０ｆは、入力ファイバレンズと偏光分離手段１４、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置する。